

特開平10-286683

(43) 公開日 平成10年(1998)10月27日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

B 2 3 K 26/00  
26/04  
26/06B 2 3 K 26/00  
26/04  
26/06N  
C  
J

審査請求 未請求 請求項の数 5 ○ L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-98769

(22) 出願日 平成9年(1997)4月16日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 谷口 仁啓

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

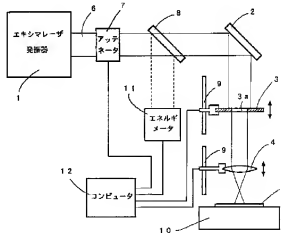
(74) 代理人 弁理士 岡田 和秀

## (54) 【発明の名称】 エキシマレーザ加工装置ならびに加工方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工装置および加工方法。

【解決手段】 エキシマレーザビーム6を無段階または段階的に減衰調整可能なアッテネータ7と、このアッテネータを通過したエキシマレーザビームのエネルギーメータ1.1と、マスク3、レンズ4および加工対象物5の相対位置に応じてアッテネータを制御して所定のエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射する。また、マスクパターン像の結像状態を維持しながら、マスク、レンズ、加工対象物の少なくとも2つを光軸に対して移動することによって、パターン縮小率を段階的もしくは無段階に変化させ、かつ、加工対象物上に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を一定に保つことによって、加工対象物に加工に最適なエネルギーを有するエキシマレーザビームを照射し、深さ方向に径の変化する穴ならびに幅が変化する溝などを得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】エキシマレーザ発振器から出射するエキシマレーザビームをアッテネータで所定のエネルギー量に減衰したうえで所定形状のマスクパターンを有するマスクで遮蔽しながらレンズを通して加工対象物に縮小投影し、マスクパターン形状と相似形の除去加工を行うエキシマレーザ加工装置において、前記マスクパターンの大きさ、レンズの焦点距離、パターン縮小率ないしは加工対象物に縮小投影されたパターンの大きさなどあらかじめ決まっているパラメータより、自動的にマスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を定め、前記相対位置に応じて前記アッテネータを制御することによって加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射することを特徴とするエキシマレーザ加工装置。

【請求項2】レーザ発振器のレーザ出口とマスクとの間のエキシマレーザビーム路中でエキシマレーザビームを段階的もしくは無段階に減衰調整可能なアッテネータと、前記アッテネータを通過したエキシマレーザビームのエネルギーを測定する測定手段と、マスク、レンズおよび加工対象物のうちの少なくとも2を光軸に平行して移動させる移動手段と、前記マスク、レンズおよびマスクパターンの結像面の相対位置を検出する検出手段と、前記アッテネータ、測定手段、移動手段および検出手段を制御する制御手段とを具備し、前記制御手段は、前記マスクパターンの大きさ、レンズの焦点距離、必要とするマスクパターンの縮小率ないしは加工対象物に縮小投影されたマスクパターンの大きさなどあらかじめ決まっているパラメータを得るとともに、このパラメータに基づいてマスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を定め、前記相対位置に応じて前記アッテネータを制御し、加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射することを特徴とする請求項1に記載のエキシマレーザ加工装置。

【請求項3】マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、加工対象物にレーザ照射を行い、加工が進行する間に、マスクパターン側の結像状態を維持しながら、マスク、レンズおよび加工対象物の少なくとも2つを光軸に対して平行に移動することによって、パターン縮小率を段階的もしくは無段階に変化させ、かつ、加工対象物上に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を一定に保ちながら加工対象物の材料除去を行うことを特徴とするエキシマレーザ加工方法。

【請求項4】マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、マスクパターンを加工対象物上に縮小投影し、レーザ入射面に対して、レーザ出射面の形状が小さくなるテーパ状のパターンを形成することを特徴とする請求項3に記載のエキシマレーザ加工方法。

【請求項5】マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、マスクパターンを加工対象物上に縮小投影し、かつ、加工対象物、エキシマレーザビームおよ

びマスクの少なくとも1つを走査することによって、幅が変化する溝を形成することを特徴とする請求項3に記載のエキシマレーザ加工方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はエキシマレーザ加工装置ならびにその加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】エキシマレーザはAr、Kr、Xeなどの希ガスとハロゲンガスであるF、Clを一定の割合で混合したガスの中での放電により発振されるものであり、紫外領域に短い発振波長を有する高出力パルスレーザであり、この特徴を生かして半導体とか電子部品関連での微細加工など産業上多くの応用例が実用化されている。その応用例として例えばインクジェット記録ヘッドのオリフィスプレートの微細制御とかフリップチッププリント基板のスルーホールやヴィアホールの加工をはじめとする、高分子材料の微細加工への適用がある。エキシマレーザによるポリイミド、ポリスルホン、ポリカーボネイト、ポリエチレンテフタレートといった高分子材料の加工は、他の産業用レーザ、例えばCO<sub>2</sub>レーザ、YAGレーザによる熱的溶融プロセスとは異なる、光化学反応と呼ばれるアブレーションプロセスであるから熱影響が極めて少ないため高品位な加工が可能である。

【0003】このようなエキシマレーザによる穴開け加工にはマスクイメージング法とコンタクトマスク法とが知られており、そのうち、マスクイメージング法は、図7で示すようにエキシマレーザ発振器1からのエキシマレーザビーム6を光学系である反射ミラー2で反射させたうえでマスク3に照射し、マスク3の開口部3aの形状（マスクパターン）を通過したエキシマレーザビーム6をレンズ4により拡大または縮小して加工対象物5上に拡大または縮小投影させて照射させる方法である。また、コンタクトマスク法は図8で示すようにエキシマレーザ発振器1からのエキシマレーザビーム6を反射ミラー2で反射させたうえでレンズ4で拡大または縮小してマスク3に照射し、マスク3の開口部3aを通過したエキシマレーザビーム6により加工対象物5に穴開けを行う方法である。

【0004】上述した両穴開け加工方法のうち、図7で示されるマスクイメージング法においては、基本的には加工対象物5の表面にレンズ4でもってマスクパターンを結像させるものであり、マスクパターンの縮小率（M）、結像位置でのエキシマレーザビームのエネルギー密度（E<sub>w</sub>）、マスク3面上でのエキシマレーザビームのエネルギー密度（E<sub>m</sub>）とから次の関係式（1）が成立する。

【0005】

$$E_w = M^2 E_m$$

…(1)

ただし、マスク3とレンズ4との間の離隔距離(a)、レンズ4と結像位置である加工対象物5の表面との間の離隔距離(b)、レンズ4の焦点距離(f)とから次の関係式(2)および(3)が成立する。

【0006】

$$M = a/b \quad \dots (2)$$

$$1/a + 1/b = 1/f \quad \dots (3)$$

前記結像位置でのエネルギー密度(Ew)は、各種材料によって加工に最適値が存在するので、高品位な穴開け加工を行うためにはあらかじめ結像位置でのエネルギー密度(Ew)を見いだしおくことが必要となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】エキシマレーザを利用した加工例の多くは、穴開け、清切りであり、これには、丸形状もしくは角形状のマスクパターンを有するマスク3が使用される。例えば穴開けの場合、加工対象物5に対して穴径を変えて加工を行うには、図7もしくは図8から明らかなように、マスクパターン径が異なるマスク3に交換するか、あるいはレンズ4によってマスクパターンの縮小率(M)を変化させることが必要である。

【0008】したがって、マスクパターン径が異なる大きさのパターンをマスク3を用いて穴開け加工する場合には、数多くのマスク3を準備すればよいのであるが、エキシマレーザ用のマスクは、金属板を加工して作製する金属マスク、あるいはエキシマレーザビームを通過するガラス製の基板上にエキシマレーザビームを反射する薄膜材料でパターンを形成したガラスマスクを一般に用いるのであるから、いずれのマスクもそれを精巧に製作するには相当の日数を要することになっているうえ、また、その作製にも相当に高価な費用がかかるものとなっている。

【0009】一方、マスクパターンの縮小率(M)を変化させることによって、穴開け加工するためのパターンの大きさを変化させた場合、前記(1)式から明かなように、マスクパターンの結像位置におけるエキシマレーザビームのエネルギー密度(Ew)も変化するることになり、必ずしも加工対象に最適な加工エネルギーが得られるものではない。例えば縮小率(M)を大きくしてパターン像を絞り込むような場合においては加工対象物5に照射されるエキシマレーザビームのエネルギーが大きくなり、加工対象物5が高分子材料である場合には、加工端面にダレが生じるなど熱的な加工の様相が現れはじめ、加工品位が低下してくる。

【0010】また、一つの加工対象物5に対して、異なるパターン径の穴を多数開ける場合には、加工を行う穴の径に応じたマスク3が必要であり、マスク3の交換とエキシマレーザビーム6の位置決めなどに複雑な作業が必要となる。

【0011】エキシマレーザ加工には上述した問題があ

るが、これら上述の問題点を解決する技術として特開平7-185847号公報が提案されているが、この公報の技術は、可変スリットによりエキシマレーザビームのサイズを任意の大きさに絞り込むために可変スリットを用いてエキシマレーザビームを任意のサイズに絞り込むようにしているもの、エキシマレーザビームのビーム形状が矩形形状のみに限定されてしまうという欠点を有している。

【0012】一方、エキシマレーザビームを照射することによって穴開け加工を施した場合、加工対象物5のエキシマレーザビーム入射面の寸法に対して、エキシマレーザビーム出射面の寸法が小さくなり、穴開けの結果、穴内断面が自然にテーパ状に加工されてしまうことで知られている【OPTRONICS(1994)No. 7, p.141~147参照】。こうしたテーパ状加工という事実は本発明者らの実験によっても、高分子材料の一つであるポリイミド材料の加工対象物に対して穴明けを行った場合、その加工対象物上に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度に応じて、加工断面に6ないし8度のテーパ角が自然に形成され、さらに、自然に形成されるテーパ角は、加工される材料と、照射するレーザのエネルギー密度によって定まることまで確認されている。

【0013】ところが、高分子材料からなる加工対象物5に対する穴開け加工においては、例えば穴内断面が10度以上の大きなテーパ角を持つ形状に穴開け加工することは困難とされており、かかる課題を解決するための技術が特開平7-284975号公報ならびに特開平8-25066号公報によって提案されている。しかしながら、特開平7-284975号公報による場合では、一回の穴開けについて複数回のレーザ照射が必要となり、かつ、エキシマレーザビームの制御も困難であるという課題があり、また、特開平8-25066号公報による場合では、ラックとピニオンによってアリスを振動させながらエキシマレーザビームを照射するため、装置が複雑になるといった課題を有している。

【0014】エキシマレーザ加工によって加工対象物に溝を形成する方法としては、図9で示すように矩形のエキシマレーザビーム6をマスク3およびレンズ4を介して加工対象物5上に照射し、マスク3、エキシマレーザビーム6、加工対象物5のうちの少なくともいずれか一つを一定速度で走査することによって矩形断面の溝形成を行う方法が一般的に使用されている。ところが、定形のパターンを走査する方法では、一定幅の溝の形成は行えても幅が変動する溝の形成は不可能である。

【0015】したがって、本発明の目的は、レーザ加工用マスクを交換することなく、かつ、加工対象物に加工に最適なエネルギー密度のエキシマレーザビームを照射可能として任意の大きさの穴開け加工を高品位に行うことが可能となるエキシマレーザ加工装置を提供すること、

ならびにエキシマレーザを加工対象物上に照射している間にマスクパターンの縮小率を段階的もしくは無段階に変化させることによって、断面が大きなテーパ形状となる穴、幅が変化する溝のように、従来の加工方法では加工が困難であった形状の加工方法を提供することにある。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明においては、エキシマレーザ発振器から射出するエキシマレーザビームをアッテネータで所定のエネルギー量に減衰したうえで所定形状のマスクパターンを有するマスクで遮蔽しながらレンズを通して加工対象物に縮小投影し、マスクパターン形状と相似形の除去加工を行うエキシマレーザ加工装置において、前記マスクパターンの大きさ、レンズの焦点距離、パターン縮小率ないしは加工対象物に縮小投影されたパターンの大きさなどあらかじめ決まっているパラメータより、自動的にマスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を定め、前記相対位置に応じて前記アッテネータを制御することによって加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射することを特徴とするレーザ加工装置として上述の課題を解決している。

【0017】請求項2に係る発明においては、レーザ発振器のレーザ射出口とマスクとの間のエキシマレーザビーム路中にエキシマレーザビームを段階的もしくは無段階に減衰調整可能なアッテネータと、前記アッテネータを通過したエキシマレーザビームのエネルギーを測定する測定手段と、マスク、レンズおよび加工対象物のうちの少なくとも2つを光軸に平行して移動させる移動手段と、前記マスク、レンズおよびマスクパターンの結像面の相対位置を検出する検出手段と、前記アッテネータ、測定手段、移動手段および検出手段を制御する制御手段とを具備し、前記制御手段は、前記マスクパターンの大きさ、レンズの焦点距離、必要とするマスクパターンの縮小率ないしは加工対象物に縮小投影されたマスクパターンの大きさなどあらかじめ決まっているパラメータを得るとともに、このパラメータに基づいてマスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を定め、前記相対位置に応じて前記アッテネータを制御し、加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射することを特徴とする請求項1に記載のレーザ加工装置として上述の課題を解決している。

【0018】請求項3に係る発明においては、マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、加工対象物にレーザ照射を行い、加工が進行する間に、マスクパターン像の結像状態を維持しながら、マスク、レンズおよび加工対象物の少なくとも2つを光軸に対して平行に移動することによって、パターン縮小率を段階的もしくは無段階に変化させ、かつ、加工対象物上に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を一定に保ち

ながら加工対象物の材料除去を行うことを特徴とするエキシマレーザ加工方法として上述の課題を解決している。

【0019】請求項4に係る発明においては、マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、マスクパターンを加工対象物上に縮小投影し、レーザ入射面に対して、レーザ射出面の形状が小さくなるテーパ状のパターンを形成することを特徴とする請求項3に記載のエキシマレーザ加工方法として上述の課題を解決している。

【0020】請求項5に係る発明においては、マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、マスクパターンを加工対象物上に縮小投影し、かつ、加工対象物、エキシマレーザビームおよびマスクの少なくとも1つを走査することによって、幅が変化する溝を形成することを特徴とする請求項3に記載のエキシマレーザ加工方法として上述の課題を解決している。

【0021】本発明によるエキシマレーザ加工装置は、図1より明らかのように、マスク、レンズおよび加工対象物のうちの少なくとも2つを光軸に平行して移動することにより、エキシマレーザビーム路長が充分に確保できる限り任意の縮小率を設定することができる。すなわち、一つの形状に対してひとつのマスクさえ作製すれば、マスクパターンを任意の大きさに加工対象物上に縮小投影し、任意の大きさの穴開け加工を行うことが可能である。しかしながら、マスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を調整し、任意の縮小率を設定しようとしても、結像位置におけるレーザのエネルギー密度は、前記関係式(1)にて決定される値となるため、必ずしも加工対象物に最適な値にはならない。そこで、アッテネータによりマスク面上に照射されるビームのエネルギーを減衰させることによって最終的に加工対象物表面に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を調整し、加工対象に最適な値とすることが可能となる。

【0022】また、本発明によるレーザ加工装置によれば、加工中にマスクパターンの結像状態を維持しながら、マスク、レンズおよび加工対象物の少なくとも2つを移動させることによって、加工中に段階的もしくは無段階にマスクパターンの大きさを変化させ、さらに加工対象物に最適なレーザエネルギーを得ることが可能であり、レーザ照射中に変化する縮小率に対応した形状、例えば、断面がテーパ形状の穴、幅が変化する溝などを高品位かつ簡単に形成することが可能になる。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態に係るエキシマレーザ加工装置ならびに加工方法について詳細に説明する。

#### 【0024】実施の形態1

図1は本発明の実施の形態1に係るエキシマレーザ加工装置の構成を示す図である。このエキシマレーザ加工装

7

置は、エキシマレーザ発振器1、光学系である反射ミラー2、エキシマレーザ遮蔽のためのマスク3およびレンズ系であるレンズ4を有しているとともに、エキシマレーザ発振器1、アッテネータ7、光学系であるビームスプリッタ8、位置検出および保持手段としての第1および第2の位置検出・保持機構9、ワークステージ10、測定手段としてのエネルギーメータ11および制御手段としてのコンピュータ12を有している。上記構成を備えたエキシマレーザ加工装置において、エキシマレーザ発振器1はエキシマレーザビーム6を射出するよう構成されている。アッテネータ7は、エキシマレーザ発振器1から射出されたエキシマレーザビーム6を所定のエネルギー量のビームに減衰するよう構成されている。反射ミラー2は、アッテネータ7で減衰されたエキシマレーザビーム6を加工対象物5方向に反射させるよう構成されている。マスク3は所定のマスクパターンを有する開口部3aを備えており、反射ミラー2で反射されてきたエキシマレーザビーム6を所定のマスクパターンに対応した形状の開口部3aにおいて通過させ、開口部3a以外では遮蔽するよう構成されている。レンズ4は、マスク3を通過したエキシマレーザビーム6をワークステージ10上の加工対象物5上に縮小投影させるよう構成されている。

【0025】第1および第2の位置検出・保持機構9それぞれはマスク3とレンズ4それぞれを反射ミラー2と加工対象物5との間におけるエキシマレーザビーム6の光軸方向である図中矢印方向に平行移動可能に保持しており、マスク3ならびにレンズ4がエキシマレーザビーム6の光路中のどの位置に存在するか位置検出信号をコンピュータ12にフィードバックするとともにコンピュータ12からの駆動信号によりマスク3とレンズ4とをそれぞれ図中矢印方向に平行移動し得るように構成されている。

$$M = \phi m / \phi w$$

したがって、関係式(1)～(4)により、次の関係式(5)～(6)が成立する。

$$a = f(\phi m / \phi w + 1), \quad b = f(\phi w / \phi m + 1)$$

$$E_m = (\phi w^2 / \phi m^2) E_w \quad \dots (6)$$

ここで、 $E_m$ はアッテネータ7を通過したエキシマレーザビーム6のエネルギー密度、 $E_w$ は結核位置つまり加工対象物5に於けるエキシマレーザビーム6のエネルギー密度である。

【0030】したがって、コンピュータ12は、あらかじめ決められたマスクパターンの大きさ、加工パターンの大きさ、レンズ4の焦点距離( $f$ )、加工に必要とするエネルギー密度( $E_w$ )から、マスク3とレンズ4それぞれの位置( $a$ )、( $b$ )、アッテネータ7を通過したエキシマレーザビーム6のエネルギー( $E_m$ )を前記関係式(5)および(6)によって算出することができる。コンピュータ12はこの算出された値に基づいて、第1および

8

\*【0026】ビームスプリッタ8は、アッテネータ7とマスク3との間に挿入されて、エキシマレーザビーム6を反射ミラー2方向に通過させる一方で一部のエキシマレーザビーム6をエネルギーメータ11に入射させるように構成されている。エネルギーメータ11は、ビームスプリッタ8からのエキシマレーザビームのエネルギー量を測定しその測定信号をコンピュータ12にフィードバックするよう構成されている。コンピュータ12は、エネルギーメータ11からの測定信号の入力に応答してアッテネータ7に対してエキシマレーザビーム6の減衰量を制御するための制御信号を出力可能であるとともに、位置検出・保持機構9からの位置検出信号の入力に応答して該位置検出・保持機構9に対して駆動信号を出力可能に構成されている。コンピュータ12は位置検出・保持機構9からの位置検出信号の入力からマスク3、レンズ4および加工対象物5の相対位置を定め、この相対位置に応じてエネルギーメータ11からの測定信号を監視しながらアッテネータ7を制御することによって加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物7に照射できるよう構成されている。

【0027】このような構成を備えた本実施の形態1によるレーザ加工装置を用いて実際にワークステージ10上の加工対象物5に穴加工を行う加工方法について説明する。ここで、マスク3の開口部3aは直径( $\phi m$ )の円形状となっており、マスクパターンはこれに対応したものとなる。そして、加工対象物5にこのマスクパターンに対応した直径( $\phi w$ )の穴加工を実施するものとする。この場合、マスク3のマスクパターンの大きさに対して加工対象物5の穴の加工パターンの大きさがどれだけ縮小されているかを示すパターン縮小率を $M$ とすると、そのパターン縮小率( $M$ )には次の関係式(4)が成立する。

$$* \quad \dots (4)$$

※【0029】

$$\dots (5)$$

★第2の位置検出・移動機構9それぞれに駆動信号を制御出力してマスク3およびレンズ4それぞれを所定の位置に位置決めし、マスク3上のエネルギー量については、エネルギーメータ11からの測定信号から得て、加工対象物5上でのエキシマレーザビームのエネルギー密度が所定のエネルギー密度になるようにアッテネータ7の減衰率を変化させるようこれに制御信号を制御出力する。

【0031】次に、本実施の形態1によるレーザ加工装置を使用することによって、パターン縮小率( $M$ )をどのくらい変化させることが可能であるか、以下に一般式を記述する。本発明によれば、穴開け径すなわちパターン縮小率( $M$ )を制約する条件として、次の4つがあげ

られる。

【0032】(a) 装置全体の大きさつまりエキシマレーザビーム6の光路長

(b) レンズ4の焦点距離(f)

(c) エキシマレーザビームのビーム径

(d) アッテネータ7の減衰率可変域

上記(a)～(d)の制約条件のうちでパターン縮小率(M)を決定づけるものは、アッテネータ7の減衰率( $\eta$ )の変化域である。理論上、この減衰率( $\eta$ )は、\*

$$E_w = M^2 \cdot \eta \cdot E_o$$

ここで、 $\alpha < \eta < \beta$ としておくと、本実施の形態1では結像位置エキシマレーザビームエネルギー密度( $E_w$ )が加工対象物5に応じた値で一定となるように、減衰率( $\eta$ )を決定するので、その減衰率( $\eta$ )の変化域と

$$(1/\beta) \cdot (E_w/E_o) < M^2 < (1/\alpha) \cdot (E_o/E_w) \quad \dots (9)$$

以上の関係式をもとに、エキシマレーザによる高分子材料の加工で最も典型的なポリイミドの加工を例にとって本実施の形態1をさらに詳細に説明する。

【0036】加工対象物5が高分子材料としてポリイミド材料の場合、その加工表面におけるエキシマレーザビームの最適エネルギー密度( $E_w$ )は、実験によって0.7～1.2(J/cm<sup>2</sup>)であることが確認されている。対象とする加工形状を従来の機械加工では加工が困難な、直径100( $\mu$ m)以下の丸穴とする。例えば加工対象物5に直径50( $\mu$ m)の穴開けを行う場合、直径200( $\mu$ m)の丸パターンを形成したメタル製のマスク3を準備する。加工面におけるエキシマレーザビームのエネルギー密度( $E_w$ )が、前記の範囲0.7～1.2(J/cm<sup>2</sup>)から0.9(J/cm<sup>2</sup>)とした場合、使用するレンズ4の焦点距離(f)を100(mm)とすると、前記関係式(6)により、アッテネータ7を通過したエキシマレーザビーム6のエネルギー密度( $E_m$ )は、0.056(J/cm<sup>2</sup>)、前記関係式(5)より、マスクーレンズ間の距離(a)は500(mm)、レンズー結像位置(加工対象物5表面)間の距離(b)は125(mm)となる。

【0037】また、 $E_o = 0.1$  J/cm<sup>2</sup>、0.05  $\leq \eta \leq 0.95$ とすると、前記関係式(9)によりパターン縮小率(M)は3.08  $< M < 13.4$ となり、直径200( $\mu$ m)のマスク3一枚で穴開け加工が行える穴の直径は、14.9( $\mu$ m)～64.9( $\mu$ m)となる。なお、ここでは穴形状を円としているが、正多角形やひし形であればいかなる形状のものであっても同様に相似形の加工を行うことが可能である。

【0038】実施の形態2

$$V_m = (\phi_1 - \phi_2) \cdot f \cdot r / T \cdot \{ \phi_m \cdot T^2 / P^2 - 1 / \phi_m \} \quad \dots (10)$$

$$\text{ただし、} P = T \cdot \phi_1 - r \cdot (\phi_1 - \phi_2) \cdot t$$

$$V_L = (\phi_2 - \phi_1) \cdot 1 / \phi_m \cdot f \cdot r / T \quad \dots (11)$$

$$* 0 < \eta < 1 \quad \dots (7)$$

であるが、実際は、5～95%程度である。

【0033】結像位置に於けるエキシマレーザビームのエネルギー密度( $E_w$ )、パターン縮小率(M)、アッテネータ7によるエキシマレーザビームの減衰率( $\eta$ )、レーザ発振器1から出射された直後のエキシマレーザビーム6のエネルギー密度( $E_o$ )には次の関係式(8)が成立する。

$$\text{【0034】} \quad \dots (8)$$

\* ターン縮小率(M)の変化域との間には、次の関係式(9)が成立する。

$$\text{【0035】} \quad \dots (9)$$

★次に本発明による実施の形態2について図2および図3を参照して説明する。上述した図1に示されるレーザ加工装置を用いると、加工途中でもマスクパターンの結合状態を維持しながら、パターン縮小率(M)を変化させることによって、加工対象物5の厚き方向に径が小さくなっていく寸すなわち断面がテーパ形状の穴を加工することが可能である。この場合、加工対象物5の材料厚さがレンズ4の焦点距離(f)に対して充分に小さく、無視できる範囲であるとするれば、エキシマレーザ加工による材料の加工レートをあらかじめ把握しておくことによって簡単に高品位なテーパ形状の穴開け加工を行うことが可能である。

【0039】図2(a)はマスク3、レンズ4および加工対象物5を示しており、マスク3およびレンズ4それぞれは第1および第2の位置検出・保持機構9それぞれによって図中矢印方向に移動可能である。そして、加工対象物5を図2(b)で示すように高分子材料であるポリイミドとしてその材料厚さをT(mm)、材料の加工レートをr(mm/sec)、エキシマレーザビーム入射側穴径を $\phi_1$ (mm)、エキシマレーザビーム出射側穴径を $\phi_2$ (mm)とすると(ただし、 $\phi_1 > \phi_2$ )、前記関係式(5)と(8)とにより、t秒後のマスク3の移動速度V<sub>m</sub>(mm/sec)、レンズ4の移動速度V<sub>L</sub>(mm/sec)、アッテネータ7の減衰率 $\eta$ の変化速度R $\eta$ (%/秒)は、次の関係式(10)(11)および(12)のようになる。ただし、ここでは説明を簡略化するため、穴径の変化の割合を一定として算出している。また、マスク3、レンズ4および加工対象物5のうち、加工対象物5を固定し、レンズ4およびマスク3を移動させる構成としてある。

【0040】

11

$$R\eta = 2 \cdot Ew / Eo \cdot (\phi 1 - \phi 2) / \phi m^2 \cdot r / T \cdot$$

$$[(\phi 1 - \phi 2) \cdot r / T - \phi 1] \quad \cdots (12)$$

次に、上記各関係式に基づき、実際の加工例について説明する。例えば、ポリイミド材料に、穴入口の直径60 ( $\mu\text{m}$ )、穴出口の直径15 ( $\mu\text{m}$ )の穴開け加工を行うとする。実施の形態1と同様に、マスクパターンの直径200 ( $\mu\text{m}$ )、加工面におけるエキシマレーザビームのエネルギー密度を0.9 ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )、レーザ発振器1の出力エネルギー密度0.1 ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )、使用するレンズ4の焦点距離 ( $f$ ) を100 ( $\text{mm}$ ) とする。また、材料の加工レートを0.04 ( $\text{mm}/\text{秒}$ )、材料の厚さを0.5 ( $\text{mm}$ ) とする。前記関係式(10)~(12)により、マスク3の移動速度 ( $V_m$ )、レンズ4の移動速度 ( $V_L$ )、アッテネータ7の減衰率変化速度 ( $R\eta$ ) は加工を開始してから経過時間 ( $t$ ) の関数として次のように求められる。

$$【0041】 V_m = -0.018 / (0.03 - 0.018t)^2 + 1.8 (\text{mm}/\text{秒})$$

$$V_L = 1.8 (\text{mm}/\text{秒})$$

$$R\eta = 0.005832t - 0.0972$$

図3(a)は上記のマスク3の移動速度 ( $V_m$ )、レンズ4の移動速度 ( $V_L$ )、アッテネータ7の減衰率変化速度 ( $R\eta$ ) についての計算結果を図表に表したものである。この図表に基づいて、加工を開始してから経過時間  $t$  における各制御パラメータの値をあらかじめコンピュータ12で計算しておくことができるので、計算された値に基づいてコンピュータ12はマスク3およびレンズ4の位置制御、アッテネータ7の減衰率を無段階に制御すればよい。なお、近似的に図3(b)で示すように微小時間間隔 ( $\Delta t$ ) の間で各パラメータの値が一定であるとみなして段階的に計算を行うことが一般的である。この場合には、 $\Delta t$  を小さくすればするほど計算の精度が向上することとなる。

【0042】なお、本実施の形態2によれば、その原理から明らかなように  $\phi 1 > \phi 2$  すなわちエキシマレーザビーム入射側の穴入口大きさがエキシマレーザビーム出射側の穴出口の大きさより大きいパターン加工のみ\*

$$V_m = f \cdot 1 / \alpha \cdot e \cdot \{L / [L(1-L-e)]^2 - 1 / L\} \quad \cdots (14)$$

$$V_L = f \cdot 1 / L \cdot 1 / \alpha \cdot e \quad \cdots (15)$$

$$R\eta = 2 \cdot Ew / Eo \cdot 1 / L^2 \cdot 1 / \alpha \cdot (e - L(1+L)) \cdot e \quad \cdots (16)$$

このとき、ワークステージ10の走査速度 ( $V_s$ ) は次のようになる。 ※ 【0047】

$$V_s = r \cdot H / h \cdot k / L \cdot (L(1-L-e)) \quad \cdots (17)$$

$$\text{ただし、} e = \exp \{-(t + \beta) / \alpha\}$$

$$\alpha = r \cdot H \cdot k \cdot j \cdot 1 / (L(2-L)) \cdot 1 / h \cdot 1 / L$$

$$\beta = \alpha \cdot \log_e L$$

本実施の形態3では実施の形態2と同様、あらかじめ決★50

12

\*行うことが可能である。

### 【0043】実施の形態3

本発明による実施の形態3について図4および図5を参照して説明する。本実施の形態3は加工対象物5に溝加工を行う場合である。図4(a)はマスク3、レンズ4および加工対象物5を示しており、マスク3およびレンズ4それぞれは第1および第2の位置検出・保持機構9それぞれによって図中矢印方向に移動可能である。図4(a)のマスク3にはサイズが  $L \times k$  の開口部3aが形成されており、これによって、マスクパターンが決定される。このマスクパターンによって図4(a)(b)に示される加工対象物5に溝幅が  $L_1 \sim L_2$  に可変する溝加工を行う。本実施の形態3における溝加工には図1で示されるエキシマレーザ加工装置を用いて加工対象物5に幅が変化する溝加工を行う。

【0044】以下説明すると、エキシマレーザ発振器1のエキシマレーザビーム6の発振周波数を  $H(\text{Hz})$ 、走査速度  $v(\text{mm}/\text{秒})$ 、走査方向における加工パターンの長さを  $k(\text{mm})$ 、加工レートを  $r(\text{mm}/\text{sec})$ 、形成される溝の深さを  $h(\text{mm})$  としたとき、これらの間には次の関係式(13)が成立する。

$$【0045】 h = k \cdot r \cdot H / v \quad \cdots (13)$$

深さが一定で、幅の異なる溝を加工する場合、説明を簡略化するため、溝幅が  $L_1(\text{mm})$  から  $L_2(\text{mm})$  まで一定の割合で変化するとし(ただし、 $L_1 > L_2$ )、溝の長さ  $j(\text{mm})$ 、前記  $k$  と直交する方向のマスクパターン長さを  $L$  とすると、前述の式より、マスク3の移動速度  $V_m(\text{mm}/\text{秒})$ 、レンズ4の移動速度  $V_L(\text{mm}/\text{秒})$ 、アッテネータ7の減衰率  $M$  の変化速度  $R\eta(\text{秒})$  は、次のようになる。ただし、マスク3、レンズ4、加工対象物5のうち、加工対象物5を固定し、マスク3およびレンズ4が移動する構成とした。

### 【0046】

【0047】 ★まっている数値を関係式(14)~(16)に代入することによって、マスク3、レンズ4の移動速度、アッテネータ7の減衰率、ワークステージ10の走査速度 ( $V_s$ ) は、加工を開始してから時間 ( $t$ ) の関数で定められる。図5(a)は前記の計算結果を模式的に図表に表し

たものである。

【0048】実施の形態2と同様に本実施の形態3においては図5(a)の図表に基づいて、加工を開始してから経過時間における各制御パラメータの値をあらかじめコンピュータ12で計算しておくことができるので、計算された値に基づいてマスク3、レンズ4の位置、アッテネータ7の減衰率Mを無段階に制御すればよい。なお、近似的に図5(b)で示すように微小時間間隔( $\Delta t$ )の間で各パラメータの値が一定であるとみなして計算を段階的に行うことが一般的である。この場合には、 $\Delta t$ を小さくすればするほど計算の精度が向上することになる。

【0049】ここで特開平8-88161号公報に記述されている技術について図6を参照して説明する。図6(a)は同公報のエキシマレーザ加工装置であり、図6(b)は本発明の実施の形態によるエキシマレーザ加工装置である。図6(a)の同公報においては、エキシマレーザ発振器1からは円形のエキシマレーザビーム6を出力し、その円形のエキシマレーザビーム6をレンズ4で集光し、その焦点において加工対象物5に照射加工するのは、図6(b)の本発明の実施の形態においては、エキシマレーザ発振器1から矩形のエキシマレーザビーム6を出力し、その矩形のエキシマレーザビーム6をマスク3でマスクパターンにしたうえでレンズ4を介して加工対象物5に照射する。したがって、同公報の場合では、エキシマレーザ発振器1から出力されたエキシマレーザビーム6はレンズ4に入射する前に検出したビーム径からそのビーム径をビーム径可変手段で調整し、その調整したビーム径を検出する構成となっているが、本発明の実施の形態においては加工対象物5に照射するエキシマレーザビーム6はマスクパターンの投影像でありその投影像の大きさはマスク3、レンズ4および加工対象物5の相対位置によって一意的に決まるものであり同公報のようなビーム径可変手段は無い。つまり、同公報の場合はエキシマレーザビームを加工対象物5に最も近いレンズ4に入射する前に調整する必要があるからエキシマレーザビームのビームの大きさをビーム径可変手段で制御しなければならぬ。これに対し、本実施の形態においてはエキシマレーザビームを加工対象物5に最も近いレンズ4に入射する前に調整する必要がないから、そのようなビーム径可変手段は不要でマスクパターンの投影倍率でビームの大きさを制御でき、加工対象物5に対する加工を精度高く行うことができることになっている。

【0050】

【発明の効果】以上の説明より明らかなように、本発明のエキシマレーザ加工装置によれば、エキシマレーザ発振器から出射するエキシマレーザビームをアッテネータで所定のエネルギー量に減衰したうえで所定形状のマスクパターンを有するマスクで遮蔽しながらレンズを通して

加工対象物に縮小投影し、マスクパターン形状と相似形の除去加工を行うエキシマレーザ加工装置において、前記マスクパターンの大きさ、レンズの焦点距離、パターン縮小率ないしは加工対象物に縮小投影されたパターンの大きさなどあらかじめ決まっているパラメータより、自動的にマスク、レンズおよび加工対象物の相対位置を定め、前記相対位置に応じて前記アッテネータを制御することによって加工に最適なエネルギー量のエキシマレーザビームを加工対象物に照射することから、マスク、レンズおよび加工対象物のうちの少なくとも2つを光軸に平行して移動することにより、エキシマレーザビーム路長が充分に確保できる限り任意の縮小率を設定することができる結果、一つの形状に対してひとつのマスクとを製作すれば、マスクパターンを任意の大きさに加工対象物上に縮小投影し、さらにアッテネータによりマスク面上に照射されるビームのエネルギー量を減衰させることによって最終的に加工対象物表面に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を調整し、加工対象に最適な値とすることができるので、マスクを交換することなく、高品位な加工を行うことが可能となる。また、本発明によるレーザ加工装置によれば、加工中にマスクパターンの結像状態を維持しながら、マスク、レンズおよび加工対象物の少なくとも2つを移動させることによって、加工中に段階的もしくは無段階にマスクパターンの大きさを変化させ、さらに加工に最適なレーザエネルギーを得ることが可能であり、レーザを照射し、材料除去が行われている間に、パターン縮小率を変化させながら得られる形状、例えば、断面がテーパ形状の穴、幅が変化する溝など、これまで加工が困難であった形状を高品位かつ簡単に加工することが可能になる。

【0051】本発明のエキシマレーザ加工方法によれば、マスクイメージング法によるエキシマレーザ加工において、加工対象物にレーザ照射を行い、加工が進行する間に、マスクパターン像の結像状態を維持しながら、マスク、レンズおよび加工対象物の少なくとも2つを光軸に対して平行に移動することによって、パターン縮小率を段階的もしくは無段階に変化させ、かつ、加工対象物上に照射されるエキシマレーザビームのエネルギー密度を一定に保ちながら加工対象物の材料除去を行うことから、例えば断面がテーパ形状の穴、幅が変化する溝などエキシマレーザビームを照射し、材料除去が行われている間にパターン縮小率を変化させながら得られる形状の加工を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係るエキシマレーザ加工装置の構成図

【図2】本発明の実施の形態2のレーザ加工方法の説明に供する図

【図3】図1の加工方法の説明に供する図表。

【図4】本発明の実施の形態3のレーザ加工方法の説明



に供する図

【図5】図4の加工方法の説明に供する図表。

【図6】従来の技術と本発明の実施の形態との相違の説明に供する図。

【図7】レーザ加工におけるマスクイメージング法の説明に供する図。

【図8】レーザ加工におけるコンタクトマスク法の説明に供する図。

【図9】エキシマレーザ加工によって加工対象物に溝を形成する方法の説明に供する図。

【符号の説明】

1 エキシマレーザ発振器

2 反射ミラー

3 マスク

4 レンズ

5 加工対象物

6 エキシマレーザビーム

7 アッテネータ

8 ビームスプリッタ

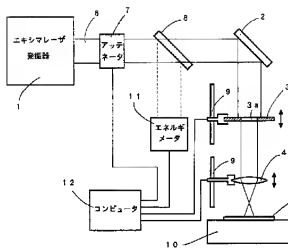
9 位置検出・平行移動機構

10 ワークステージ

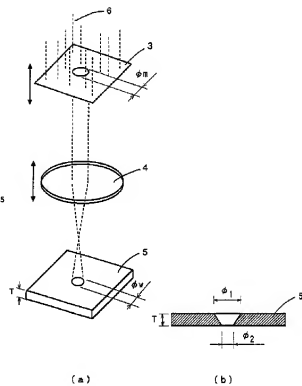
11 エネルギメータ

12 コンピュータ

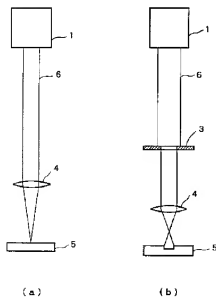
【図1】



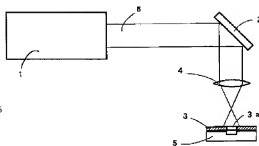
【図2】



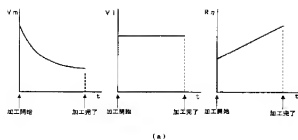
【図6】



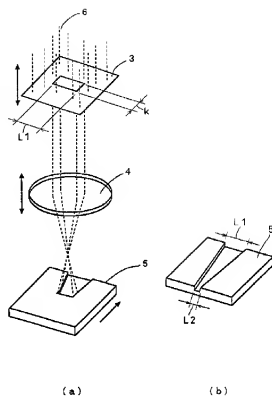
【図8】



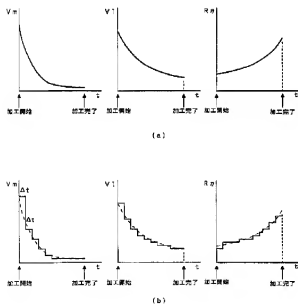
【図3】



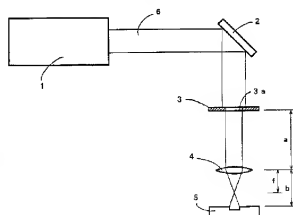
【図4】



【図5】



【図7】



【図9】

